

生命の起原研究に関する現状と課題

Present State and Issues of the Researches on the Origin of Life

大 石 正

OISHI Tadashi

生命の起原についての研究は、RNAワールド説、タンパク質ワールド説などが提唱されている。RNAワールド説は、リボザイム（酵素活性をもったRNA）の発見により、生命の起原を説明する仮説として提唱されたが、前生物的地球上において最初にRNAのような分子が現れたとするには難がある。また、タンパク質ワールド説も十分に生命の起原を説明するに足るものはない。今回、フランスのモンペリエで開催された「Origins 2011」に参加し、世界の生命の起原研究の動向を知りえたので、その内容を述べるとともに、池原により提唱されている「GADV仮説」を紹介する。また、生命の起原研究についてのDeamer (2011)の提言に沿って、検討した結果を述べる。

キーワード：生命の起原, Origins 2011, RNAワールド説, タンパク質ワールド説, GADV仮説, Deamerの提言

Key Words: Origin of Life, Origins 2011, RNA world hypothesis, Protein world hypothesis, GADV hypothesis, Proposals by Deamer

1. 緒言

生命の起原に関する研究は、現在、宇宙生物学の台頭とともに、非常にホットな課題となってきた。2011年の7月4日～8日にフランスのモンペリエで開催された「Origins 2011」(2011)は、そのことを如実に物語っている。本稿では、ISSOL（国際生命の起原研究学会）とAstrobiology（宇宙生物学）との合同会議である「Origins 2011」の内容を紹介する。また、現在、生命の起原を説明する有力な説として「RNAワールド仮説」があるが、Deamer (2011)の提言に沿って、池原（2009）により提案されている「GADV仮説」と比較検討する。

2. 「Origins 2011」の内容

Origins 2011は、International Society for Study

of the Origin of Life and Astrobiology SocietyそしてBioastronomyが共同で開催したものである(Origins 2011, 2011)。その目的は、生命の起原についての広い分野の新しい知見を集めることである。フランスのモンペリエで、2011年7月3から8日の期間で開催された。招待講演及びオーラル及びポスターセッション（Table 1）のタイトルと、その中の発表のいくつかを取り出して紹介する。

2-1 Origins: From Stars to Life（起原：星から生命へ）

(1) 招待講演

- Jose Cernicharoは、「星間媒体における分子：星間雲から原惑星への化学進化」と題して、地上および衛星からの望遠鏡観察による分子雲の物理的、科

Table 1. Invited Lectures, Oral and Poster Presentations in the Origins 2011 held at Montpellier, France

Session	Invited Lectures	Oral Presentations	Poster Presentations
1. Origins: From Stars to Life	4	3	30
2. Biosignatures and Clues of Life	2	6	37
3. Early Earth Processes	2	6	15
4. Exoplanets and Habitability	2	6	23
5. Early and Minimal Life	1	5	52
6. Prebiotic Chemistry	2	10	104
7. Past and Present Solar System	2	6	21
8. Evolutionary Perspectives: from Molecules to Biodiversity and Extraterrestrial Intelligence	2	8	17
9. Outreach, Education, and History of Sciences	1	0	19
Total	18	50	318

学的性質についての現状を述べるとともに、ガス層や粒子表面における複雑な分子の成長における化学的過程について言及した。

- Addy Prossは、「ダーウインの理論を無生物へ広げる進化の一般理論化」において、ダーウインの理論を生物、無生物の両方に適用可能とする一般理論化を試みた。これにより、生命起原研究に新しい識見を導入できる可能性を示した。
- Gerald Joyceは、「RNAの自律的ダーウィニアン進化」において、二つのRNA酵素がお互いの合成を触媒する系を確立したと述べている。これにより酵素系と自律的複製を含む人工遺伝システムが可能となったと述べている。

(2) オーラルセッション

- Sun Kwokは、「進化した星から太陽系へ複雑な有機化合物が配られた」と題して、進化の最終ステージの星では、芳香族や脂肪族の複雑な有機化合物が短期間で合成できることに言及した。これらの物質は、惑星間に放出され、宇宙全体に散らばる。これは、隕石で見つかる有機物質と類似している。ここ

では、星間有機物質が初期の太陽系および初期の地球にどの程度関係するかを議論した。

- Matthew W. Powner, J. D. Sutherland and Jack W. Szostakは、「核酸の化学的起原」において、前生物的に形成されるピリミジンリボ核酸へのルートを報告した。また、調節されたpHのもとで、多成分反応とアシル変換カスケードを発見した。

(3) ポスターセッション

ポスターセッションでは、複雑なアミノ酸、塩基など高分子化合物が星間起原で形成されることが数多く報告された。

- Kensei Kobayashi らは、高分子量の複雑なアミノ酸前駆体が星間環境において形成され、太陽系に運ばれ、変換されることを地上と宇宙における実験的検証により示した。また、タンポポ計画において、宇宙塵の捕獲や有機化合物の宇宙環境への直接暴露などを行う予定である。

2-2 Biosignatures and Clues of Life (生命痕跡と生命の鍵)

(1) 招待講演

- Emmanuëlle Javauxは、微化石が始生代における細胞の出現から、原生代における真核生物の多様化に至る主要な生物の変革に直接的証拠となることを示した。生物地質学的研究は保存環境の解釈を改善し、地球上や宇宙環境での生命を観察するために微化石の診断的基準を示すのに役立つことを示した。

(2) オーラルセッション

- Maria C. Garciaは、スペインのRio Tintoの古代の酸性地層で、短いペプチド配列を検出した。これは、極端な環境が分子情報の保存に適していないという考えに対して反論するものである。

(3) ポスターセッション

火星、隕石、古岩石などにおける生命痕跡の証拠の提示が多々あった。

- Yasunori Miura and Takao Tanosaki は、液相のある大気条件が火星隕石のパクテリア様構造や久賀隕石の化石様構造に重要であることを示した。

2-3 Early Earth Processes：初期の地球過程

(1) 招待講演

- Minik Rosingは、初期始生代の生物圏において、光合成の開始と前生物的環境の崩壊が起こったことと、理論地質化学の有用性について述べている。

(2) オーラルセッション

- Eugenio Simonciniらは、冥王代の熱水孔からの自由エネルギーが最初の代謝を導いたとするモデルを提唱した。

(3) ポスターセッション

- Hiroshi Ohmotoは、オーストラリアで発見された34.6億年前の碧岩と海底の玄武岩が酸素豊富な深海水に影響されたそれらと基本的に同じ地質化学的特徴を有することを示した。このことは、34.6億年前の生物基本要素（BEE）の地質化学は、生物多様性を促進する現在の海と基本的に同じであることを示している。

2-4 Exoplanets and Habitability：地球外惑星と居住性

(1) 招待講演

地球外惑星、居住性、生物指標ガスの多様性について論じられている。

(2) オーラルセッション

赤色矮星のまわりの地球様惑星の居住性が論じられている。特にGliese 581系が研究の中心となっている。

(3) ポスターセッション

- Antígona Seguraらは、赤色矮星のGliese 581d惑星の超地球としての居住性について大気条件や表面温度のモデルを構築した。

2-5 Early and Minimal Life：初期の極小生命

(1) 招待講演

- Irene Chen は、非酵素系がリボザイムを作り出すに十分な情報をもっていたか、あるいは化学的なメカニズムのみで複雑性を増すことができたかという問いを通して、前生物的な化学的メカニズムがいかにして情報を担う配列を出現させたかを述べている。また、「鶏と卵」問題を解決したと述べている。

(2) オーラルセッション

- Andrew Pohorille and Burkhard Seeligは、コンピュータデザインを含んだアミノ酸のランダム配列からポリペプチドを作り出すことにより、原始的機能タンパク質を探った。このようなタンパク質の中に新規な配列、構造、機能をもったタンパク質があった。祖先タンパク質がいかに多様化したか、新しいタンパク質ワールドの可能性を示した。
- Anders N. Albertsenらは、情報、代謝、容器の三つの最小成分を混合することにより、自己複製する系を作り出す試みをした。

(3) ポスターセッション

- Kenji IkeharaとTadashi Oishiは、RNAワールド仮説が、原始地球上での生命の起原を説明するために提案されているが、生命の起原を明らかにするための最も重要なポイントは、遺伝子、遺伝コード、そしてタンパク質の形成過程を説明することであるとした。これらの過程はGADV仮説によって合理的に説明される。さらに、[GADV]タンパク質が多様な触媒活性をもつ高い可能性はGADV仮説の有効性を示しているとした。
- その他、脂質膜形成、遺伝コード形成、LUCA、R

NAワールド形成, RNAワールドの遺物としてのバクテリアプラスミドやハンマーヘッドリボザイムなどの発表があった。

2-6 Prebiotic Chemistry : 生命以前化学

(1) 招待講演

- John D. Sutherlandは, RNAが前生物的産物なのか生物的産物なのかを議論している。
- Nicholas V. Hudらは, 最初のRNA状のポリマーの起源について議論した。

(2) オーラルセッション

- ペプチド結合の合成, 無生物的メタン形成, ミラーの実験の追試により23アミノ酸を検出, β シートペプチドの自己複製, PNA (ペプチド核酸), RNA研究の進歩, 原細胞集団の自然選択, リン酸基盤のエネルギー系の出現などが議論された。

(3) ポスターセッション

- 酸性熱水起原の前生物的リン酸化 (グリセロールリン酸, グルコースリン酸など), ナノボア起原の生命, アミロイドワールド仮説, ホモキラリティー問題, 熱水-鉱物リアクターシステム, タンポポ計画 (Yamagishiら, Mitaら), ペプチドによる前生物的RNAポリメライゼーション, モンモリロン石によるRNA合成, 海底熱水を含む原始地球環境でのアミノ酸前駆体の形成 (Kensei Kobayashiら) 等々が議論された。

2-7 Past and Present Solar System : 過去と現在の太陽系

(1) 招待講演

- Kevin P. Handは, 太陽系の宇宙生物学: 氷ワールドにおける生命の起原と題して講演した。地下の海洋をもった氷で覆われた月, 木星の衛星における液体の水の量は地球の1~2倍以上あることを示した。また, 海洋ワールドを宇宙船で観察した結果を述べている。
- Dominique Bockelée-Morvanは, 彗星の成分から太陽系形成の初期相に起こった化学的物理的過程についての重要な鍵について述べた。

(2) オーラルセッション

- 地球以外の太陽系において, 生命が現れた可能性があるのは火星である。従って, 生命の起源の指標が保存されているかもしれない。
- タイタンのエアロゾル類似体を種々の濃度で純水とアンモニア水と混ぜ, タイタンの環境温度においたら, アミノ酸, 核酸塩基, 尿素などができた。
- 彗星, 隕石中に全生物的有機物が検出された。

(3) ポスターセッション

- 彗星中の凍った有機物, 火星, タイタンなどの大気成分分析の結果など。
- Hikaru Yabutaらは, マーチソン隕石の分析をmicro-XANES spectroscopyで行った。その結果, 芳香族炭素が隕石のマトリックスの中に不溶解有機物中よりも多く存在し, 多様性も高かった。

2-8 Evolutionary Perspectives : from Molecules to Biodiversity and Extraterrestrial Intelligence : 進化的見通し: 分子から生物多様性と地球外知性へ

(1) 招待講演:

- Marc P. Hoepfnerらは, 現在のRNAに基づく過程とRNAワールドを比較することにより, RNAワールド仮説の再構築を検討した。

(2) オーラルセッション

- 代謝の進化, 調節的タンパク質非コードRNAの進化による「新しいRNAワールド」
- LUCA (Last Universal Common Ancestor) の前に分岐した酵素の再構築によると現在のアミノアシル tRNA合成酵素の前にいくつかのアミノ酸にとってtRNAのメカニズムが存在したことを示唆した。
- 知性の進化, SETI(地球外知的生命体探査)の研究

(3) ポスターセッション

- 化学進化と生命の起原の関係
- 宇宙における認識過程の進化

2-9 Outreach, Education, and History of Sciences : 広報活動, 教育, そして科学史

(1) 招待講演

- Antonio Lazcanoは, 「分子の背後の幽霊: RNAワールド概念の歴史」について述べた。

(2) オーラルセッション なし

(3) ポスターセッション

- ・各国における宇宙生物学の紹介
- ・宇宙生物学の哲学的側面：(1) 生命とは何か、
(2) 地球外生命の探索のために税金を使うこと、
(3) エイリアンに会った時どう扱うか？
- ・新しい生命の定義

以上、Origins 2011における発表演題を網羅的に紹介した。次に「生命の起原」について、Deamerの提言を紹介する。

3. Deamerの提言

David Deamer (2011)が最近出版した本「First Life - Discovering the Connections between Stars, Cells, and How Life Began (最初の生命－星、細胞、そして生命の起原の間をつなぐものを発見するために)」は、15章からなる内容であるが、第14章「A Grand Simulation of Prebiotic Earth (前生物的地球の包括的模擬実験)」を中心に解説する。

まず、解決されていない生命出現の最後の段階についての三つの疑問を提示する。

1. 核酸やタンパク質のようなポリマーが代謝や酵素のない状態で合成されたのか？
2. そのポリマーがどのようにして複製できたのか？
3. いかにしてタンパク質と核酸の基本的な相互作用が始まったのか？

仮説、実験、理論

1. 現在の生命はすべて細胞からできている。リボザイムやポリメラーゼのようなサブシステムが生命のある種の機能を示すけれども、いかなるサブシステムも生命の定義に適うすべての特徴をもっていない。それゆえ、仮説の実験的な検証は細胞が形成される可能性を示さねばならない。
2. 生命の最初の分子は、ポリマーである、そして生命の特徴である成長はモノマーが酵素により触媒されたエネルギー依存性の過程によりポリマーになる時に起こる。生命が始まる前に酵素はない。それ故、私たちは、前生物的地球に存在していたであろうモノマーから非酵素的にポリマーが形成されるメカニ

ズムを見つけねばならない。

3. すべての細胞性生命は、二種類のポリマーがお互いに相互作用する周期的過程に依存している。酵素と呼ばれるポリマー性触媒が、核酸の合成を導く。そして核酸の塩基配列が酵素のアミノ酸配列を規定する。これは、生命は、袋の中のポリマーの混合によって単純に始まったものではなく、前生物的環境において、自己集合的に生じた分子のシステムとして始まったものであることを意味する。
4. RNAはそれ自身、最初の生命としてのすべての条件を満たすほど十分に複雑ではない。アミノ酸ポリマーと核酸が仕切りの中で共進化するという新しいアプローチが必要となる。主な疑問として、いかにポリマー性触媒と情報運搬分子が自然に発生し、選択と進化が可能となる相互作用が始まるかを追求すべきである。
5. 数えきれないほどのカプセル化された分子系がポリマーのランダム合成により作られ、膜により囲まれた枠の中に自己集合するときに生命は始まった。いくつかのこのようなシステムが成長し、資源のために競争することができるようになった時に進化が始まった。一方、有用な遺伝子が集まって、相互作用するポリマーの新しいシステムとなる遺伝情報の混合が起こる。

さて、「生命の起原」について、直接的に検討しているのは、「5. Early and Minimal Life: 初期の極小生命」のセッションである。RNAワールドの立場から、招待講演者であるIrene Chenは、「鶏と卵」問題が解決したと報告しているが、この問題が解決したとはとても言えない。彼女らハーバード大学グループが言っていることは、DNAやRNAなどの情報を担う分子がエラーなしの複製を行うことを示したということであって、「鶏と卵」問題（遺伝子がなければタンパク質を合成できなく、タンパク質（酵素）がなければ遺伝子の複製ができない）を解決したことにはならない。すなわち、Deamerの3つの疑問のうち、2については説明したとしても、1と3を説明できていない。他にもRNAワールドの立場からの報告がいくつかあったが、やはり、Deamerの3つの疑問のうち、

1 と 3 を説明できていない。

July 3rd - 8th (2011)

Ikehara and Oishiは、このセッションにおいて、タンパク質の0次構造が生命の起原において重要であることを指摘している。Ikehara (2009)は、生命の起原をタンパク質と遺伝暗号の関係から論理的に説明する[GADV]タンパク質ワールド仮説を提唱している。RNAワールド仮説が多くの研究者によって提唱されているが、Deamerの3つの疑問のうち、1と3を説明することはできないのに対して、池原の説(Ikehara, 2009)は、3つの疑問に答えることができる。池原は、ミラーの実験で生じる4種の簡単なアミノ酸(G:グリシン, :アラニン, D:アスパラギン酸, V:バリン)は、疎水性・親水性の違いに加えて、 α -ヘリックス、 β -シート、 β -ターンなどの二次構造形成能があり、球状タンパク質を形成し触媒機能を発揮するために必要な条件を備えていることを示した。そして、GADVアミノ酸からなるGADVタンパク質こそが原初タンパク質であろうと推定している。さらに、これら4種のアミノ酸は、遺伝暗号表の中で、Gで始まる4つの暗号GNCによってコードされている。このようにして、原初遺伝暗号GNCを含むオリゴヌクレチドとGADVアミノ酸との立体化学的な対応関係が成立し、最初の遺伝暗号が成立したと推定している。GADV原初アミノ酸からなるタンパク質の酵素活性と、GADVタンパク質の疑似複製による情報伝達が生命の起原における「鶏と卵」問題を解決すると池原は考えている。これらの池原のGADV仮説は、前述のDeamerの提唱する実験によって今後検証されねばならない。

引用文献

- 1) Deamer, David: First Life - Discovering the Connections between Stars, Cells, and How Life Began. , University of California Press (2011)
- 2) Ikehara, Kenji : Pseudo-Replication of [GADV]-Proteins and Origin of Life. Int. J. Mol. Sci. 10 (4), pp.1525-1537 (2009)
- 3) Origins 2011: Program and Abstracts:Origins 2011(ISSOL and BioAstronomy Joint International Conference, Le Corum, Montpellier, France,

Present State and Issues of the Researches on the Origin of Life.

OISHI Tadashi

Abstract

There are several hypotheses such as RNA world hypothesis, Protein world hypothesis, etc. on the origin of life researches. As ribozymes (RNA with enzyme activity) were found, RNA world hypothesis has been a main hypothesis to explain the origin of life. However, it is difficult to understand that a macromolecule such as RNA has appeared at the very origin of life at the prebiotic earth. Protein world hypotheses so far cannot explain the origin of life. I attended the "Origins 2011" conference held in Montpellier, France, and found the trend of researches on the origins of life. Here, I present the contents of conference, and introduce the "GADV" hypothesis proposed by Kenji Ikehara. Finally, I checked the hypothesis according to the Deamer's proposals on experimental possibilities.

Key Words : Origin of Life, Origins 2011, RNA world hypothesis, Protein world hypothesis, GADV hypothesis, Proposals by Deamer